|  |  |
| --- | --- |
| **Gerb-BMSTU_01** | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

Факультет: «Специальное машиностроение»

Кафедра: СМ3 «Динамика и управление движением ракет и космических аппаратов»

**Лабораторная работа №2**

по курсу «Динамика движения подводных аппаратов»

по теме «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЕ»

Выполнили:

Группа: СМ11-61Б

Проверил: Голубев А. Г.

Москва, 2023 г.

**Цель работы:** экспериментально определить профиль скорости и толщину пограничного слоя на плоской пластине, обтекаемой дозвуковым потоком, рассчитать толщины вытеснения и потери импульса, а также коэффициенты трения на поверхности пластины; провести сравнительный анализ экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов.

**Краткая теоретическая сводка.**

Движение реального газа существенным образом отличается от течения идеальной среды наличием вязкостных сил (сил внутреннего трения), обусловленных перераспределением количества движения и возникающих как реакции газа на изменение его формы, происходящее в процессе движения. Наибольшее отличие наблюдается в области прилегающей к поверхности обтекаемого тела, области резкого изменения скорости, существенное влияние на течение в которой оказывают вязкостные силы.

Согласно закону Ньютона, напряжение трения в вязкой среде:

где μ - динамическая вязкость среды; – градиент продольной скорости в направлении, перпендикулярном рассматриваемой площадке.

 Если сопоставить реальную картину течения с ее идеализированной схемой, то можно заметить, что различия между ними, обусловленные особенностями представления о невязкой среде, сосредоточены в очень узкой (при больших числах Рейнольдса) области, непосредственно прилегающей к поверхности обтекаемого тела. Вне этой области идеализация свойств газа не вызывает искажений действительных условий процесса, и упрощенная схема течения находится в хорошем соответствии со своим сложным прообразом. В соответствии с изложенным, вся область течения рассматривается как совокупность некоторого пограничного слоя и внешнего потока.

I - пограничный слой; II - внешнее течение; III - граница пограничного слоя; IV - обтекаемая поверхность; δ - толщина пограничного слоя.

*Пограничным слоем* называют зону течения вблизи поверхности тела, которая характеризуется высокой степенью неоднородности параметров потока (в частности, скорости), а следовательно, значительной интенсивностью вязкостных сил. В пределах этой зоны инерционные и вязкостные силы должны рассматриваться как величины одного порядка.

Рассмотрим плоское течение несжимаемой среды вдоль поверхности малой кривизны. В этом случае система уравнений движения и неразрывности имеет следующий вид:

Положим что погран слой тонкий и движение установившееся, также добавим ГУ:

при y=0 Vx=Vy=0; y-> ∞ Vx->Vδ; .

Проведя оценку порядков параметров уравнения, подставляя граничные условия и интегрируя уравнения по бесконечно малому элементу слоя ABCD 1 ширины получим:

Верно для несжимаемой жидкости.

*Ламинарный пограничный слой*. При течении вдоль плоской пластины профиль скорости и давление не зависят от координаты x (). Примем, что на пластине существует однородный пограничный слой – ламинарный, и он начинается с носка пластины, тогда можно получить:

*Турбулентный пограничный слой.* Считаем, что на пластине, начиная с передней кромки, развивается турбулентный пограничный слой. В результате решения интегрального соотношения находим:

**Экспериментальное исследование параметров пограничного слоя.** Теория движения невязкого газа дает удовлетворительную картину обтекания какой–либо поверхности только в идеальном потоке, расположенном за пределами пограничного слоя, непосредственно примыкающего к этой поверхности, где существенное значение приобретают силы вязкого трения. Поскольку изменение скорости пограничного слоя до ее значения во внешнем свободном потоке происходит асимптотически, то определение толщины пограничного слоя δ в известной степени произвольно. Условно за внешнюю границу пограничного 18

слоя принимают линию, на которой скорость течения отличается от скорости в свободном потоке на 1%.



Распределение скорости по толщине пограничного слоя Vx=f(y) при фиксированном xi может быть найдено по измеренному в нем полному давлению po’=f(y). С этой целью воспользуемся уравнением Бернулли для элементарной струйки несжимаемой среды, из которого скорость Vx находится, как:

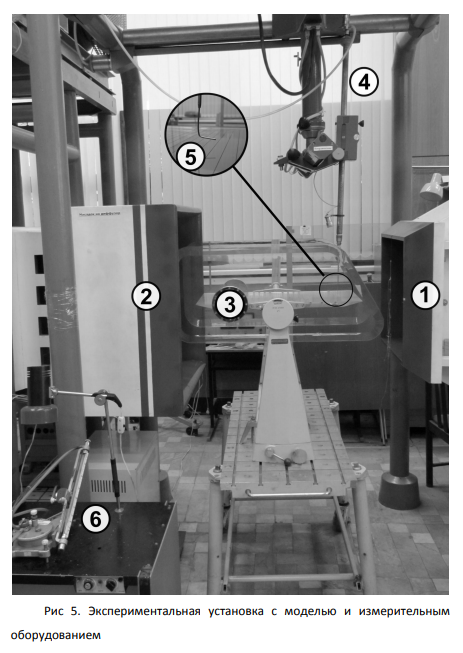
На основании экспериментальных зависимостей Vx=f(y) можно определить толщину пограничного слоя δ, условные толщины вытеснения и потери импульса δ’, δ’’.

Величина δ’’, имеющая линейную размерность, называется в соответствии с ее физическим смыслом, *толщиной вытеснения* и представляет собой площадку, через которую в невязком потоке протекает количество среды, равное потере расхода через пограничный слой из-за торможения газа в реальном течении. Толщина вытеснения характеризует смещение линий тока в направлении, перпендикулярном обтекаемой поверхности.

Величина δ’’ представляет высоту площадки, через которую в условиях течения идеальной среды в единицу времени переносится количество движения, равное количеству движения, потерянному вследствие торможения среды в пограничном слое. В соответствии с этим δ’’ называется *толщиной потери импульса*.

Избыточное давление определяют в соответствии с показаниями дифференциального манометра по формуле:

где - показания манометра в текущем сечении; γ – удельный вес жидкости, используемой в манометре; β – угол наклона плоскости манометрической трубки; - тарировочный коэффициент.



Экспериментальные данные:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x=100 | | | | | | |
| № | y | Δh | V | Vx | Vx/Vb | 1-Vx/Vb |
| 1 | 0,5 | 68 | 14,75 | 14,75 | 0,714299 | 0,285701 |
| 2 | 1 | 74 | 15,38 | 15,39 | 0,745146 | 0,254854 |
| 3 | 2 | 83 | 16,78 | 16,30 | 0,789159 | 0,210841 |
| 4 | 3 | 102 | 18,07 | 18,07 | 0,874834 | 0,125166 |
| 5 | 5 | 120 | 19,59 | 19,60 | 0,948891 | 0,051109 |
| 6 | 7 | 132 | 20,55 | 20,55 | 0,995205 | 0,004795 |
| 7 | 9 | 136 | 20,86 | 20,86 | 1,010171 | -0,01017 |
| 8 | 11 | 137 | 20,94 | 20,94 | 1,013878 | -0,01388 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x=200 | | | | | | |
| № | y | Δh | V | Vx | Vx/Vb | 1-Vx/Vb |
| 1 | 0,5 | 63 | 14,2 | 14,20 | 0,675236 | 0,324764 |
| 2 | 1 | 71 | 15,07 | 15,07 | 0,716827 | 0,283173 |
| 3 | 2 | 86 | 16,59 | 16,59 | 0,788923 | 0,211077 |
| 4 | 3 | 98 | 17,71 | 17,71 | 0,842167 | 0,157833 |
| 5 | 5 | 116 | 19,27 | 19,27 | 0,916251 | 0,083749 |
| 6 | 7 | 128 | 20,24 | 20,24 | 0,962477 | 0,037523 |
| 7 | 9 | 137 | 20,34 | 20,94 | 0,995739 | 0,004261 |
| 8 | 11 | 141 | 21,24 | 21,24 | 1,010171 | -0,01017 |
| 9 | 13 | 142 | 21,32 | 21,32 | 1,013747 | -0,01375 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x=350 | | | | | | |
| № | y | Δh | V | Vx | Vx/Vb | 1-Vx/Vb |
| 1 | 0,5 | 61 | 13,97 | 13,97 | 0,65762 | 0,34238 |
| 2 | 1 | 69 | 14,86 | 14,86 | 0,699414 | 0,300586 |
| 3 | 2 | 83 | 16,29 | 16,30 | 0,767095 | 0,232905 |
| 4 | 3 | 93 | 17,25 | 17,25 | 0,811992 | 0,188008 |
| 5 | 5 | 111 | 18,85 | 18,85 | 0,887098 | 0,112902 |
| 6 | 7 | 125 | 20 | 20,00 | 0,94138 | 0,05862 |
| 7 | 9 | 136 | 20,86 | 20,86 | 0,981928 | 0,018072 |
| 8 | 11 | 141 | 21,24 | 21,24 | 0,999815 | 0,000185 |
| 9 | 13 | 144 | 21,46 | 21,47 | 1,010395 | -0,0104 |
| 10 | 15 | 145 | 21,54 | 21,54 | 1,013898 | -0,0139 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x=500 | | | | | | |
| № | y | Δh | V | Vx | Vx/Vb | 1-Vx/Vb |
| 1 | 0,5 | 57 | 12,51 | 13,51 | 0,631281 | 0,368719 |
| 2 | 1 | 66 | 14,53 | 14,53 | 0,679293 | 0,320707 |
| 3 | 2 | 80 | 16 | 16,00 | 0,747877 | 0,252123 |
| 4 | 3 | 91 | 17,06 | 17,06 | 0,797638 | 0,202362 |
| 5 | 5 | 106 | 18,42 | 18,42 | 0,860871 | 0,139129 |
| 6 | 7 | 118 | 19,43 | 19,43 | 0,908293 | 0,091707 |
| 7 | 9 | 129 | 20,32 | 20,32 | 0,949686 | 0,050314 |
| 8 | 11 | 138 | 21,01 | 21,01 | 0,982256 | 0,017744 |
| 9 | 13 | 143 | 21,38 | 21,39 | 0,999892 | 0,000108 |
| 10 | 15 | 146 | 21,61 | 21,61 | 1,010326 | -0,01033 |
| 11 | 17 | 147 | 21,63 | 21,69 | 1,01378 | -0,01378 |

Расчетные формулы:

Ламинарный пограничный слой:

Турбулентный пограничный слой:

Число Рейнольдса определяется по формуле:

где -кинематическая вязкость воздуха при t = 15°C;

**Таблица с результатами расчетов толщин и коэфф. трения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| к= | 0,2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| x | δ | δ\* | δ\*\* | δл | δт |  |  |  |  |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,1 | 11 | 1,239799 | 0,981857 | 1,352819 | 3,58171 | 0,001883 | 0,005595 | 0,09062 | 0,005158 |
| 0,2 | 13 | 1,770378 | 1,424931 | 1,896048 | 6,213729 | 0,00132 | 0,004853 |  |  |
| 0,35 | 15 | 2,297543 | 1,839018 | 2,495394 | 9,702665 | 0,000993 | 0,004331 |  |  |
| 0,5 | 17 | 3,214269 | 2,606725 | 2,976355 | 12,89586 | 0,000829 | 0,004029 |  |  |

**Графики**

1)Сравнение теоретических и экспериментальных толщин пограничного слоя в различных сечениях:

2)Сравнение профилей скорости в различных сечениях

3)Сравнение безразмерных профилей скорости в сечениях плюс теоретические профили скорости для ЛПС и ТПС на плоской пластине

4)Графики толщины, толщины вытеснения и потери импульса экспериментального пограничного слоя

**Выводы**

1. В лабораторной работе , L = 500 мм, тогда В эксперименте пограничный слой является тонким, так как соблюдается условие, что δ/L≪1.

2. Согласно графикам, 1 и 2 экспериментальный пограничный слой является турбулентным, полученные эпюры скоростей являются более полными, а толщина слоя по длине пластины возрастает интенсивнее.

3. На графике 2 видно, что с увеличением условной длины пластины, размерный профиль скорости становится менее полным, что связано в большой мере с ростом касательных напряжений, которые возникают вследствие обмена количеством движения с окружающей средой.

4. Безразмерный профиль скорости, соответствующий ламинарному режиму течения, является менее наполненным ввиду меньшего сопротивления трения. В случае турбулентного режима течения, где была получена теоретическая зависимость, профиль, напротив, самый наполненный. Графики, полученные экспериментально, соответствуют турбулентному пограничному слою, при изменении условной длины пластины серьезным образом не отличаются между собой, однако менее наполнены в отличие от теоретического профиля.

5. График показывает, что толщина пограничного слоя при увеличении расстояния x от передней кромки возрастает пропорционально в некотором приближении линейного увеличения сил сопротивления. То же касается толщины вытеснения и потери импульса.